

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет міського господарства  
імені О.М. Бекетова

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторних робіт з дисципліни

**«Теплопостачання і гаряче водопостачання»**

(для студентів 3 курсу денної форми навчання за напрямом підготовки  
6.060101 «Будівництво», спеціальності «Міське будівництво і господарство»,  
спеціалізації «Технічне обслуговування, ремонт та реконструкція будівель»)

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Теплопостачання і гаряче водопостачання» (для студентів 3 курсу денної форми навчання за напрямом підготовки 6.060101 «Будівництво», спеціальності «Міське будівництво і господарство», спеціалізації «Технічне обслуговування, ремонт та реконструкція будівель»). / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова; уклад.: О. О. Алексахін, О. В. Бобловський. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 27 с.

Укладачі: О. О. Алексахін,  
О. В. Бобловський

Рецензент: А. О. Бобух

Рекомендовано кафедрою теплохолодопостачання,  
протокол № 2 від 08 жовтня 2013 р

## Зміст

Вступ.....	4
1. Лабораторна робота № 1. Обладнання теплового пункту .....	5
1.1 Мета лабораторної роботи .....	5
1.2 Базове обладнання теплових пунктів .....	5
1.3 Оформлення та захист лабораторної роботи .....	9
2. Лабораторна робота № 2. Визначення витрат гріючого теплоносія для роботи теплообмінників гарячого водопостачання у разі одноступінчастої схеми приєднання водопідігрівної установки .....	9
2.1 Мета лабораторної роботи .....	9
2.2 Базові розрахункові формули .....	10
2.3 Порядок виконання роботи .....	11
2.4 Оформлення та захист лабораторної роботи .....	12
3. Лабораторна робота № 3. Визначення потужності насоса для роботи системи гарячого водопостачання .....	13
3.1 Мета роботи .....	13
3.2 Загальні теоретичні положення, необхідні для виконання лабораторної роботи .....	13
3.3 Порядок виконання роботи .....	14
3.4 Оформлення та захист лабораторної роботи .....	15
4. Лабораторна робота № 4. Порівняльний аналіз теплової продуктивності пластинчастих і кожухотрубчатих водо підігрівників... ..	15
4.1 Мета роботи .....	15
4.2 Базові розрахункові формули .....	15
4.3 Порядок виконання роботи .....	17
4.4 Оформлення та захист лабораторної роботи .....	19
5. Лабораторна робота № 5. Визначення температури підігріву води у теплообмінних апаратах гарячого водопостачання у нерозрахункових режимах .....	19
5.1 Мета роботи .....	19
5.2 Загальні теоретичні положення, необхідні для виконання лабораторної роботи .....	19
5.3 Порядок виконання роботи .....	20
5.4 Оформлення та захист лабораторної роботи .....	22
6. Лабораторна робота № 6. Визначення коефіцієнта змішування на вводі до місцевої системи опалення .....	22
6.1 Мета роботи .....	22
6.2 Базові теоретичні положення .....	22
6.3 Порядок виконання роботи .....	24
6.4 Оформлення та захист лабораторної роботи .....	24
Список використаних джерел.....	25
Додатки.....	26

## Вступ

Загальною метою лабораторних робіт є закріплення знань студентів з дисципліни «Теплопостачання і гаряче водопостачання» й оволодіння навичками експериментальних досліджень на лабораторному стенді, що моделює роботу системи теплопостачання. Фізична модель реалізує залежну схему приєднання системи опалення за допомогою підмішуючого насоса й одноступінчасту схему приєднання теплообмінників гарячого водопостачання. Під час виконання робіт студенти визначають головні показники обладнання теплових пунктів, а саме знайомляться з обладнанням теплових пунктів; визначають витрату гріючого теплоносія для роботи теплообмінників гарячого водопостачання у разі одноступінчастої схеми приєднання водопідігрівної установки; визначають потужність насосу для роботи системи гарячого водопостачання; проводять порівняльний аналіз теплової продуктивності пластинчастих і кожухотрубчатих водопідігрівників; визначають температури підігріву води у теплообмінних апаратах гарячого водопостачання у нерозрахункових режимах; визначають коефіцієнт змішування на вводі до місцевої системи опалення.

В стенді лабораторної установки використано пластинчастий теплообмінний апарат, який має цілий ряд переваг у порівнянні з іншими конструкціями, а саме більш високий коефіцієнт теплопередачі, більші терміни експлуатації та більші міжремонтні терміни.

### *Порядок виконання лабораторних робіт*

Студенти самостійно знайомляться з даними методичними вказівками до лабораторних робіт.

Перевіривши стан і справність лабораторної установки, студенти повідомляють про це викладачу і, одержавши дозвіл до проведення лабораторних робіт, приступають до їх виконання.

Після виконання заданої кількості вимірювань, студенти приводять лабораторну установку до початкового стану.

### *Оформлення та захист лабораторних робіт*

Звіт про виконання лабораторних робіт, результати проведених досліджень і дані вимірювань повинні бути оформлені письмово в спеціальному зошиті та представлені викладачу.

У звіті слід вказати мету, основні етапи виконання лабораторної роботи, надати необхідні розрахунки, заповнити таблиці, написати висновок.

Захист лабораторної роботи – відповіді на запитання за її змістом.

## **Лабораторна робота № 1.**

### **Обладнання теплового пункту**

1.1. Мета лабораторної роботи – Ознайомити зі структурою теплового пункту, з призначенням і принципами роботи його головного обладнання.

#### 1.2. Базове обладнання теплових пунктів

Теплові пункти призначені для приєднання систем теплоспоживання будівель до теплових мереж за обраною схемою; розподілу теплоти за інженерними системами; регулювання параметрів теплоносія та гарячої води; обліку споживання теплової енергії.

Системи опалення приєднують до теплових мереж за залежними схемами або незалежно. Залежне приєднання може бути безпосереднім (без зниження температури теплоносія на ввіді до системи), зі зниженням температури за допомогою підмішуючого насоса, зі зниженням температури за допомогою водоструминного елеватора. Незалежне приєднання системи опалення реалізується за допомогою теплообмінних апаратів.

Системи гарячого водопостачання приєднують до теплових мереж переважно за допомогою теплообмінних апаратів за одноступінчастими або двоступінчастими схемами [1]. В останньому випадку забезпечується використання теплоти, яку містить теплоносій у зворотних трубопроводах системи опалення будівель.

Теплообмінні апарати призначені для нагрівання однієї речовини до потрібної температури другою речовиною, що має більш високу початкову температуру. У системах теплопостачання використовують здебільшого рекуперативні апарати, принцип дії яких засновано на реалізації процесу теплопередачі через стінку, що розділяє гріючу та „холодну” речовини.

З метою реалізації функції регулювання параметрів та обліку споживання теплоти й води в наведеній схемі передбачено температурний контролер, тепловий лічильник та лічильник холодної води.

Температурний контролер РТГ–32 призначено для підтримання розрахункової або заданої температури у вторинному контурі шляхом зміни витрат теплоносія у первинному контурі. Контролер може здійснювати управління двома електроприводами незалежних систем та обробляти сигнали від п'яти вимірювачів температури.

Тепловий лічильник призначений для визначення кількості теплоти, спожитої об'єктом, індикації, зберігання та надання інформації про параметри теплоносія й кількості спожитої теплової енергії. Лічильник здійснює заміри температур у подавальному і зворотному трубопроводах та витрат теплоносія через об'єкт, обчислення різниці вказаних температур. Результати множення витрат теплоносія та різниці температур, яке здійснює лічильник, дає інформацію про величину теплового потоку.

Принципову схему фізичної моделі системи теплопостачання подано на рис.1.1. До моделі входять: модель джерела теплової енергії; модель індивідуального теплового пункту; модель системи опалення; модель системи гарячого водопостачання.

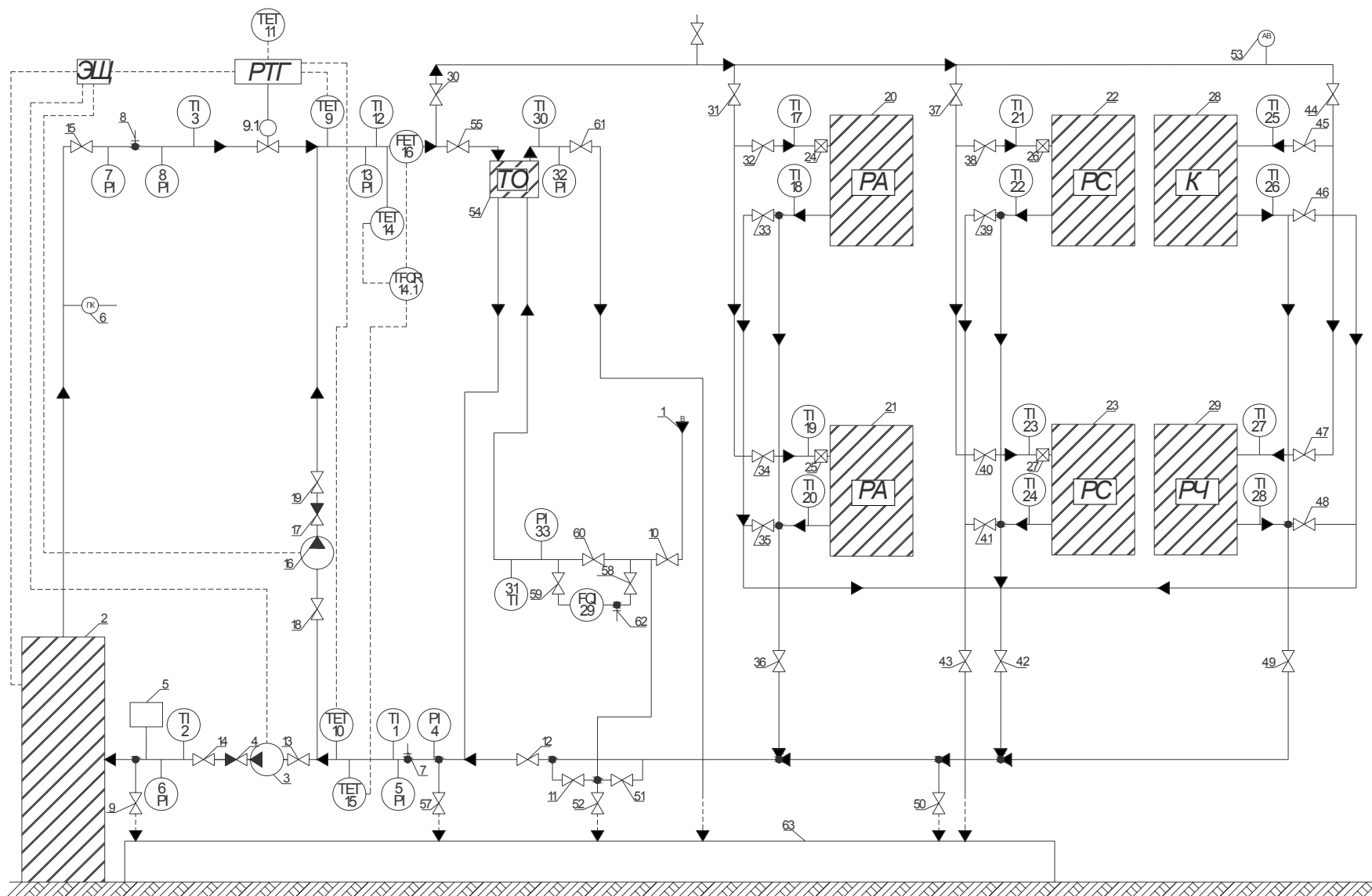


Рис. 1.1 – Принципова схема лабораторної установки системи тепlopостачання.

**Фізична модель джерела теплової енергії** складається з електричного нагрівача типу «ЕКО2-416» з блоком електричних нагрівачів (ТЕН), напруга живлення яких 220 В, потужністю до 4 кВт, приєднаного до мережі живлення через електричний щит (ЕЩ) з напругою живлення 220 В. До складу фізичної моделі входять також циркуляційний насос (3) типу Wilo RS 25/6, зворотний клапан (4), експанзомат (розширюючий бачок) (5), запобіжний клапан (6), сітчасті фільтри (7, 8), вентилі (9...15), термометри (поз. ТІ 1, ТІ 2, ТІ 3), манометри (поз. РІ 4, РІ).

**Фізичну модель індивідуального теплового пункту (ФМ ІТП)** складають змішувальний насос (16), зворотний клапан (17), мікропроцесорний контролер (РТГ), термометри (поз. ТІ 1, ТІ 2, ТІ 3, ТІ 12), манометри (поз. РІ 5, РІ 6, РІ 8, РІ 13).

**Фізичну модель системи опалення (ФМСО)** утворюють опалювальні прилади різних типів: алюмінієві (20, 21), сталеві радіатори (22, 23), конвектор „Акорд” (28), радіатор чавунний (29); вентилі (30, 31–36, 37, 38–42, 43, 44–48, 49–52), які дозволяють монтувати підключення опалювальних приладів усіх разом або у будь-якій комбінації; автоматичний повітровідвідник (53); лічильник спожитої теплової енергії типу SUPERCAL 539 в комплекті (поз. ТЕТ 14, ТЕТ 15, ТFQ 16); термометри (ТІ 17 – ТІ 28).

У поданій на рис.1.1 схемі опалювальний комплекс приєднано за залежною схемою зі зниженням температури теплоносія на вводі за допомогою підмішувального насоса, встановленого на перемичці між подавальним і зворотним трубопроводами системи [2]. Змінюючи пропорції змішування потоків теплоносія з подавального та зворотного трубопроводів системи опалення, можна здійснювати регулювання температури на вводі до опалювальних приладів.

**Фізична модель системи гарячого водопостачання (ФМСГВ)** складається із пластинчастого водоводяного теплообмінного апарату (ТО) для підігріву водопровідної води, що надходить з трубопроводу (1); лічильника холодної води (FQI 29); фільтра (62); термометрів (ТІ 12, ТІ 30, ТІ 31, ТІ 1); манометрів (РІ 13, РІ 32, РІ 33), вентилів (55...61).

Теплообмінник застосовано нерозбірний, виготовлений з пластин товщиною 0,35 мм (площа поверхні теплообміну однієї пластини 0,01 м<sup>2</sup>), компонування пластин у апараті – одноходове, схема руху речовин в апараті – протитік.

Для зливання води з фізичних моделей передбачено бак (на рис. 1.1 його умовно позначено 63.1, 63.2, 63.3, 63.4, 63.5), а з нього – до каналізації.

Наведена на рис. 1.1 принципова схема системи теплопостачання дозволяє розглядати як окреме функціонування систем опалення і гарячого водопостачання, так і спільну роботу систем. Наявна гідравлічна арматура забезпечує необхідні напрями руху речовин у фізичній моделі. Перелік обладнання моделі системи теплопостачання та його головні характеристики подано у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Головні показники обладнання

Позначення на рис. 1.1	Найменування	Марка, тип	Технічні характеристики
1	2	3	4
1	Водопровід холодної води	—	—
2	Електричний нагрівач	ЕКО 2–4/6	Потужність – 4 кВт, напруга – 220 В, максимальний припустимий тиск всередині ємності ЕКО – 0,6 МПа
3	Циркуляційний насос	Wilo Star RS 25/6	Напір – 6 м, подача напруга живлення – 220 В
4, 17	Зворотний клапан	—	—
5	Експанзомат	—	—
6	Запобіжний клапан	—	—
7, 8, 62	Фільтр сітчастий	—	—
РТГ поз. ТЕТ 9, ТЕТ 5, ТЕТ 10	Мікропроцесорний контролер в комплекті	РТГ–32	Напруга живлення – 220 В, частота – 5 Гц
ТІ 1, ТІ 2, ТІ 3, ТІ 12, ТІ 30, ТІ 31, ТІ 17–ТІ 28	Термометр показуючий, манометричний, рідинонаповнений	Watts	Шкала 0–120 °С, ціна поділки – 1 °С
РІ 13, РІ 32, РІ 33	Манометр показуючий деформаційний трубчастий	МТП–100	Шкала – 0–1,0 МПа, ціна поділки – 0,02 МПа
РІ 6 – РІ 8	Манометр показуючий деформаційний трубчастий	МТП–100	Шкала – 0–1,6 МПа, ціна поділки – 0,02 МПа
Комплект ТЕТ 14, ТЕТ 15, TFQ 16	Лічильник теплової енергії	SUPERCAL 539	Діапазон вимірювання температур –0–110 °С, діапазон вимірювання різниці температур – 3–90 °С, діапазон номінальних витрат – 0,6–2,5 м <sup>3</sup> /год, відносна похибка – не більше 10 %



Продовження табл. 1.1

1	2	3	4
29	Лічильник холодної води крильчастий	КВ–1,5	Максимальний тиск води – 1 МПа
54	Водоводяний пластинчастий теплообмінник	СВ–14 20 Н	Кількість робочих пластин – 18, площа поверхні теплопередачі – 0,2 м <sup>2</sup> , компоновка – протиток кількість ходів – 1
16	Змішувальний насос	Wilo Star RS 25/6	Див. п.3 таблиці
20, 21	Радіатор алюмінієвий	–	–
22, 23	Радіатор сталевий	–	–
28	Конвектор	Акорд	–
29	Радіатор чавунний		–
24; 25; 26; 27	Індивідуальний терморегулятор	ICMA	–
9–15; 18; 19; 30; 31–52; 55–61	Вентиль пластмасовий	–	–
63.1; 63.2; 63.3; 63.4; 63.5	Змивний бак	–	–

### 1.3 Оформлення та захист лабораторної роботи

1. Вказати мету лабораторної роботи; склад лабораторного стенду; призначення та принцип дії головного обладнання.
2. Звіт про виконання лабораторної роботи оформити на аркушах формату А4.
3. Захист лабораторної роботи – відповіді на запитання за її змістом.

## Лабораторна робота № 2.

### Визначення витрат гріючого теплоносія для роботи теплообмінників гарячого водопостачання у разі одноступінчастій схемі приєднання водопідігрівної установки

2.1 Мета лабораторної роботи – закріпити теоретичні знання щодо принципів улаштування водопідігрівних установок гарячого водопостачання, складання теплового балансу для теплової схеми та її окремих елементів.

## 2.2 Базові розрахункові формули

Витрати гріючого теплоносія (води) можна визначити зі співвідношення (2.1), яке характеризує тепловий баланс теплообмінного апарату:

$$Q_1 = Q_2 = Q, \quad (2.1)$$

$$Q_1 = G_x \cdot c \cdot (t_e - t_x), \quad (2.2)$$

$$Q_2 = G_2 \cdot c \cdot (\tau_1 - \tau_2), \quad (2.3)$$

де  $Q_1$  – тепловий потік, який необхідно підвести до „холодної” речовини для нагрівання її від початкової температури  $t_x$  до кінцевої температури  $t_e$ ;  $G_x$  – витрати «холодної» речовини;  $Q_2$  – витрати теплоти, які необхідно відвести від гріючої речовини;  $G_2$  – витрати гріючої речовини;  $\tau_1$  та  $\tau_2$  – температура гріючої води на вході та виході теплообмінника;  $c$  – питома теплоємність води (прийняти рівною 4190 Дж/(кг·°C)).

Величину витрат гріючої води обчислюють за рівнянням (2.3):

$$G_2 = \frac{Q}{c \cdot (\tau_1 - \tau_2)}. \quad (2.3, a)$$

Величину теплового потоку  $Q$  можна визначити за рівнянням (2.2), попередньо замірявши витрати холодної води та її температури на вході у теплообмінник та на виході з нього. Як перевірку такого визначення витрат теплоти можна використати вимірювання теплового потоку через фрагмент схеми за допомогою теплового лічильника.

Кількісною оцінкою точності результату вимірювань є абсолютна та відносна похибки. Абсолютну похибку  $\Delta$  обчислюють як різницю між значенням  $x_{\text{вим}}$ , що виміряне, і дійсним значенням величини  $x$ , що вимірюється:

$$\Delta = |x - x_{\text{вим}}|. \quad (2.4)$$

Відносна похибка вимірювання дорівнює відношенню абсолютної похибки до дійсного значення величини, що вимірюється:

$$\frac{\Delta U}{U} = E = \frac{\Delta}{x} \cdot 100\%. \quad (2.5)$$

У першому наближенні можна прийняти  $\frac{\Delta U}{U} = \frac{dU}{U}$ , а як відомо,

$\frac{dU}{U} = d(\ln U)$ , тому відносна похибка одного досліду визначається повним диференціалом від натурального логарифма вимірюваної величини  $U$ . Якщо величина  $U$  є заданою функцією декількох незалежних перемінних  $U = f(k_1, k_2 \dots k_n)$ , що визначаються з експерименту, то

$$\frac{dU}{U} = d(\ln U) = d[\ln f(k_1, k_2 \dots k_n)].$$

Детально теоретичні засади визначення відносної похибки вимірювань викладені, наприклад, у [3].

Згідно з викладеним, максимальна відносна похибка визначення витрат гріючої речовини за формулою (2.3, а) становить:

$$\frac{\Delta(G_2)}{G_2} = \frac{\Delta(Q)}{Q} + \frac{\Delta(\tau_1) + \Delta(\tau_2)}{\tau_1 - \tau_2}, \quad (2.6)$$

де  $\Delta(\dots)$  – абсолютна похибка вимірювання величини.

Складовою похибки визначення витрат за формулою (2.6) є похибка визначення величини теплового потоку, яка у разі використання формули (2.2) становить:

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta(G_x)}{G_x} + \frac{\Delta(t_2) + \Delta(t_x)}{t_2 - t_x}, \quad (2.7)$$

де  $\frac{\Delta(G_x)}{G_x}$  – відносна похибка визначення витрат холодної води;

$\Delta(t_r)$ ,  $\Delta(t_x)$  – абсолютна похибка вимірювання температури гарячої та холодної води (визначається за характеристиками вимірювальних приладів).

### 2.3 Порядок виконання роботи

1. Підготувати лабораторну установку до вимірювань. Для цього відкрити вентилі 15, 55 на подавальній лінії гріючої води та вентилі 56, 13, 14 на зворотній лінії гріючої води, вентилі 10, 60, 61 на лінії води, що нагрівається. Вентилі 18, 9, 30, 52 необхідно закрити. Увімкнути циркуляційний насос 3. Переконавшись за показниками манометрів 6, 7, 8, 13, що вода циркулює у досліджуваному контурі, увімкнути електричний нагрівач 2.

2. Переконавшись за показниками термометрів, що тепловий режим роботи теплообмінного апарату стаціонарний, провести вимірювання необхідних величин:

- температура «холодної» речовини на вході ( $t_x$ ) і виході теплообмінного апарату ( $t_r$ ) (термометри поз. 31, поз. 30);

- температура гріючої речовини на вході ( $\tau_1$ ) і виході ( $\tau_2$ ) з теплообмінника (термометри поз. 3 і поз. 2 відповідно);

- витрати „холодної” речовини через теплообмінний апарат слід визначити за формулою:

$$G_x = \frac{B_2 - B_1}{3,6(T_2 - T_1)}, \quad (2.8)$$

де  $B_1$ ,  $B_2$  – показання витратоміру за обраний інтервал часу ( $T_2 - T_1$ ).

Відносна похибка визначення витрат холодної води за формулою (2.8) становить:

$$\frac{\Delta(G_x)}{G_x} = \frac{2 \cdot \Delta(B)}{B_2 - B_1} + \frac{2 \cdot \Delta(T)}{T_2 - T_1}, \quad (2.9)$$

де  $\Delta(B)$  – абсолютна похибка вимірювань лічильником холодної води;

$\Delta(T)$  – абсолютна похибка вимірювань часу.

3. Результати вимірювання величин і обчислень занести до табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати вимірювань та оброблення даних

№ п/п	Параметр	Розмірність	Спосіб визначення	Величина	Похибка визначення
1	Показання витратоміра до початку вимірювань $V_1$	$m^3$	Замір		
2	Фіксований при вимірюванні інтервал часу, $T_2 - T_1$	с	Замір		
3	Показання витратоміру через інтервал часу, $\Delta T$	$m^3$	Замір		
4	Витрати «холодної» речовини, $G_x$	кг/с	Формула (2.4)		
5	Температура «холодної» речовини на вході у теплообмінник, $t_x$	$^{\circ}C$	Замір		
6	Температура «холодної» речовини на виході з теплообмінника, $t_r$	$^{\circ}C$	Замір		
7	Температура гріючої речовини на вході у теплообмінник, $\tau_1$	$^{\circ}C$	Замір		
8	Температура гріючої речовини на виході з теплообмінника, $\tau_2$	$^{\circ}C$	Замір		
9	Витрати гріючої речовини, $G_2$	кг/с	Формула (2.3, а)		

4. Обчислити відносну похибку визначення витрат води за формулою (2.3, а).

#### 2.4 Оформлення та захист лабораторної роботи

1. Вказати мету роботи, призначення та сферу застосування теплообмінних апаратів.

2. Заповнити таблицю 2.1, виконати необхідні обчислення.

3. Звіт про виконання лабораторної роботи оформити на аркушах формату А4.

4. Захист лабораторної роботи – відповіді на запитання за її змістом.

### Лабораторна робота № 3.

#### Визначення потужності насоса для роботи системи гарячого водопостачання

3.1. Мета роботи – ознайомити з принципами проведення гідравлічних випробувань теплообмінних апаратів та обчислення потужності електродвигуна для приводу насоса.

3.2 Загальні теоретичні положення, необхідні для виконання лабораторної роботи

Головними характеристиками, за якими обирають теплообмінники та оцінюють економічність їхньої роботи, є величина теплообмінної поверхні (а отже габарити і металоємність) та втрати тиску під час руху речовин через апарат (а отже потужність насоса та витрати електроенергії для його роботи).

Потужність для приводу насоса обчислюють за формулою:

$$N = \frac{H \cdot G \cdot g}{\eta} \text{ Вт}, \quad (3.1)$$

де  $G$  – витрати води, кг/с;  $H$  – необхідний напір, м. вод. ст.;  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії насоса (прийняти 0,6).

У загальному вигляді напір насоса, що обслуговує водопідігрівну установку гарячого водопостачання, повинен бути достатнім для подолання втрат тиску води у трубопроводах ( $\Delta P_1$ ), втрат тиску під час руху води через теплообмінник ( $\Delta P_2$ ), підйому води на необхідну висоту ( $H_3$ ). У лабораторній роботі прийняти  $\Delta P_1 = 0$ ,  $H_3 = 0$ .

Під час виконання роботи необхідно виконати заміри для 3–5 режимів, нанести результати оброблення експериментальних даних на графік і підібрати лінійну залежність, яка апроксимує дані вимірювань у вигляді

$$N = a \cdot G + b. \quad (3.2)$$

Значення коефіцієнтів  $a$ ,  $b$  рівняння (3.2) можна визначити таким чином:

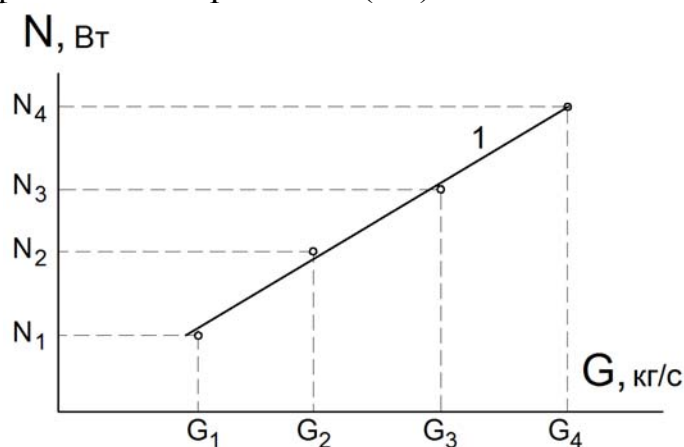


Рис. 3.1 – Обробка результатів вимірювань:  
о – експериментальні дані; 1 – апроксимуюча лінія

1. За формулою (3.3) обчислюють множник  $a$ , який характеризує кут нахилу лінії 1:

$$a = \frac{N_4 - N_1}{G_4 - G_1} \quad (3.3)$$

2. Для кожної експериментальної точки визначають величину коефіцієнта  $b$ :

$$b_i = N_i - a \cdot G_i \quad (3.4)$$

3. Обчислюють середнє арифметичне значення:

$$b = \frac{\sum b_i}{n} \quad (3.5)$$

де  $n$  – кількість експериментальних точок.

### 3.3 Порядок виконання роботи

1. Підготувати установку для проведення вимірювань, відкривши вентилі 10, 58, 59, 61 на лінії водопровідної води.

2. Для обраного режиму здійснити заміри витрат холодної води через теплообмінний апарат, величину тиску води на вході до теплообмінника ( $P_1$ ) та на виході із нього ( $P_2$ ). Результати вимірювань занести до таблиці за наданим зразком (табл. 3.1)

Таблиця 3.1 – Результати вимірювань та оброблення даних

Параметр	Позначення	Розмірність	Номер заміру				
			1	2	3	4	5
Показання витратоміра: – до початку вимірювань; – через інтервал часу, $\Delta T$ ; – інтервал часу; Тиск води: – на вході у теплообмінник, – на виході з теплообмінника	$V_1$	$\text{м}^3$					
	$V_2$	$\text{м}^3$					
	$\Delta T$	с					
	$P_1$	МПа					
	$P_2$	МПа					
Витрати води	$G$	кг/с					
Необхідний напір	$H$	м вод. ст.					
Потужність електродвигуна для приводу насоса	$N$	Вт					

3. Обчислити значення коефіцієнтів рівняння (3.2).

#### 3.4 Оформлення та захист лабораторної роботи

1. Вказати мету роботи.

2. Навести головні формули, необхідні для виконання обчислень.

3. Заповнити таблицю 3.1; виконати розрахунки за результатами вимірювань.

4. Звіт про виконання лабораторної роботи оформити на аркушах формату А4.

5. Захист лабораторної роботи – відповіді на запитання за її змістом.

### Лабораторна робота № 4.

#### Порівняльний аналіз теплової продуктивності пластинчастих і кожухотрубчастих водопідігрівників

4.1 Мета роботи – закріпити знання з теорії теплопередачі, ознайомити з принципами аналізу теплової ефективності теплообмінних апаратів.

#### 4.2 Базові розрахункові формули

Одним з головних показників досконалості теплообмінників, за яким порівнюють різні види апаратів, є коефіцієнт теплопередачі. Чим більше значення цього коефіцієнту, тим менша площа поверхні апарату, яка забезпечує передачу теплоти від гріючої до «холодної» речовини, і, отже, менша вартість теплообмінника.

В цій роботі необхідно експериментально визначити коефіцієнт теплопередачі для пластинчастого теплообмінного апарату, обчислити теоретичне значення коефіцієнта теплопередачі кожухотрубчастого теплообмінника і порівняти дві конструкції.

Експериментально коефіцієнт теплопередачі можна визначити, використовуючи рівняння теплопередачі:

$$Q = k \cdot F \cdot \overline{\Delta t}, \quad (4.1)$$

де  $k$  – коефіцієнт теплопередачі;  $F$  – площа поверхні теплообміну.

Середню логарифмічну різницю температур речовин в апараті  $\overline{\Delta t}$  обчислюють за формулою:

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \left( \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M} \right)}, \quad (4.2)$$

де  $\Delta t_B$ ,  $\Delta t_M$  – більша та менша різниця температур речовин в апараті (визначаються за графіком зміни температур, див. рис. 4.1).

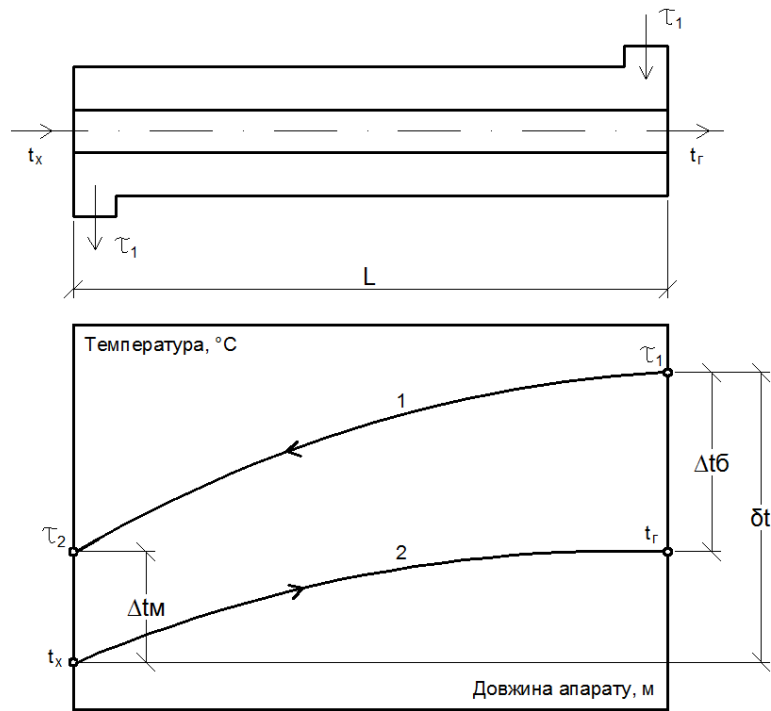


Рис. 4.1 – Графік зміни температур речовин у теплообмінному апараті у разі протитечійної схеми руху  
1 – гріюча речовина; 2 – «холодна» речовина

Теплову продуктивність апарату  $Q$  необхідно визначати за даними вимірювань, використовуючи формулу (2.2) (див. розділ 2 методичних вказівок). Таким чином, величина коефіцієнта теплопередачі з рівняння (4.1) дорівнює:

$$k = \frac{Q}{F \cdot \Delta t} \quad (4.3)$$

Площа поверхні теплообміну пластинчастого апарату:  $F = 0,2 \text{ м}^2$  (дані виробника).

Методика розрахунку кожухотрубчастого апарату наведена, наприклад, у [2, 4]. Коефіцієнт теплопередачі під час розрахунків теплообмінників визначають за формулою:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + r_3 + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (4.4)$$

де  $r_3$  – термічний опір відкладень на стінках каналів;  $\delta_{cm} = 0,001 \text{ м}$  – товщина стінки трубок;  $\lambda_{cm} = 60 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу трубок.

Коефіцієнт тепловіддачі гріючої речовини щодо зовнішньої поверхні трубок обчислюють за формулою:

$$\alpha_1 = \left[ 1630 + 21 \cdot \bar{\tau} - 0,04 (\bar{\tau})^2 \right] \frac{W_1^{0,8}}{d_e^{0,2}}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}, \quad (4.5)$$



де  $\bar{\tau} = (\tau_1 + \tau_2) \cdot 0,5$  – середня температура гріючої речовини в теплообміннику;  $d_e = 0,0129$  м – еквівалентний діаметр міжтрубного простору (дані виробника).

Коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої поверхні трубок до «холодної» речовини визначають згідно з рівнянням:

$$\alpha_2 = \left[ 1630 + 21 \cdot \bar{t} - 0,04(\bar{t})^2 \right] \frac{W_2^{0,8}}{d_T^{0,2}}, \quad (4.6)$$

де  $\bar{t} = (t_x + t_z) \cdot 0,5$  – середня температура води, що нагрівається;  $d_T = 0,014$  м – внутрішній діаметр трубок (дані виробника).

Швидкість води у міжтрубному просторі  $W_1$  та у трубках  $W_2$  обчислюють, використовуючи дані вимірювання витрат гріючої води  $G_1$  і витрат води, що нагрівається,  $G_2$ :

$$W_1 = \frac{G_1}{\rho \cdot f_1} \text{ м/с}, \quad (4.7)$$

$$W_2 = \frac{G_2}{\rho \cdot f_2} \text{ м/с} \quad (4.8)$$

де  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup> – питома вага води;  $f_1 = 0,00116$  м<sup>2</sup> – площа міжтрубного простору водопідігрівника № 01 (дані виробника);  $f_2 = 0,00062$  м<sup>2</sup> – площа трубок трубного пучка (дані виробника).

#### 4.3 Порядок виконання роботи

1. Підготувати лабораторну установку до вимірювань. До того ж вентилі 15, 55 на подавальній лінії гріючої води та вентилі 56, 13, 14 на зворотній лінії гріючої води, 10, 60, 61 на лінії води, що нагрівається, необхідно відкрити. Вентилі 18, 9, 30, 52 необхідно закрити.

2. Провести вимірювання таких величин:

- температура холодної води на вході до теплообмінника –  $t_x$ , °С;
- температура гарячої води на виході з теплообмінника –  $t_z$ , °С;
- температура гріючої речовини на вході до теплообмінного апарату –  $\tau_1$ , °С;
- температура гріючої речовини на виході з теплообмінного апарату –  $\tau_2$ , °С;
- витрати холодної води –  $G_2$ , кг/с.

3. Обчислити коефіцієнт теплопередачі для пластинчастого теплообмінника.

4. За формулою (4.4) обчислити коефіцієнт теплопередачі для кожухотрубчастого водопідігрівника. Порівняти результати для двох типів теплообмінних апаратів.

Результати вимірювань величин і обчислень занести до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати вимірювань та оброблення даних

№ п/п	Параметр	Розмірність	Спосіб визначення	Величина
1	2	3	4	5
1	Показання витратоміру холодної води до початку вимірювань	л	Замір	
2	Інтервал часу між замірами, $\Delta T$	с	Замір	
3	Показання витратоміру через інтервал часу, $\Delta T$	л	Замір	
4	Витрати холодної води, $G_2$	кг/с	Формула (2.4)	
5	Температура «холодної» речовини на вході у теплообмінник, $t_x$	°C	Замір	
6	Температура «холодної» речовини на виході з теплообмінника, $t_2$	°C	Замір	
7	Температура гріючої речовини на вході у теплообмінник, $\tau_1$	°C	Замір	
8	Температура гріючої речовини на виході з теплообмінника, $\tau_2$	°C	Замір	
9	Середня логарифмічна різниця температур речовин, $\overline{\Delta t}$	°C	Формула (4.2)	
10	Коефіцієнт теплопередачі пластинчастого теплообмінника, $k_n$	Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	Формула (4.3)	
11	Витрати гріючої речовини, $G_1$	кг/с	Формула (2.3, а)	
12	Швидкість руху: – гріючої речовини, $W_2$ ; – «холодної» речовини, $W_1$	м/с	Формула (4.8), (4.7)	

1	2	3	4	5
13	Середня температура в апараті: – гріючої речовини, $\bar{\tau}$ ; – «холодної» речовини, $\bar{t}$	°C		
14	Коефіцієнт теплообміну: – у міжтрубному просторі, $\alpha_1$ ; – в трубках, $\alpha_2$ ;	Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	Формула (4.5),  (4.6)	
15	Коефіцієнт теплопередачі кожухотрубчастого апарату	Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	Формула (4.4)	

#### 4.4 Оформлення та захист лабораторної роботи

1. Вказати мету роботи.
2. Навести базові розрахункові формули.
3. Заповнити таблицю 4.1; виконати необхідні обчислення.
4. Звіт про виконання лабораторної роботи оформити на аркушах формату А4.
5. Захист лабораторної роботи – відповіді на запитання за її змістом.

### Лабораторна робота № 5.

#### Визначення температури нагріву води у теплообмінних апаратах гарячого водопостачання у нерозрахункових режимах

5.1 Мета роботи – закріпити теоретичні знання з принципів теплового розрахунку водопідігрівних установок, засвоєння методики визначення параметрів теплообмінників в умовах зміни вихідних режимних величин.

5.2 Підбір конструктивних показників водо-водяних теплообмінників для роботи у системах гарячого водопостачання здійснюється при значеннях температури мережної води у точці вилому графіка температур і за відсутності у системі баків–акумуляторів для максимальних витрат гарячої води. При необхідності обчислення параметрів теплообмінників для інших, відмінних від названих умов, використовують рівняння характеристики теплообмінного апарату:

$$Q = \varepsilon \cdot W_m \cdot \delta t, \quad (5.1)$$

де  $Q$  – теплова продуктивність теплообмінника;  $\delta t$  – різниця температур середовищ на вході до апарату (див. рис. 4.1);  $W_m$  – менше значення теплового еквівалента витрат середовищ у теплообмінному апараті ( $W = c \cdot G$ ;  $c$  – питома теплоємність,  $G$  – витрати речовини). Величина  $\varepsilon$  – безрозмірне питоме теплове

навантаження теплообмінника. Для водо-водяних апаратів з протитечійною схемою руху речовин рівняння для визначення  $\varepsilon$  має вигляд:

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{0,35 \cdot W_M}{W_B} + 0,65 + \frac{1}{\Phi} \sqrt{\frac{W_M}{W_B}}} \leq 1, \quad (5.2)$$

де  $W_B$  – більше з двох значень теплових еквівалентів витрат речовин у теплообмінному апараті.

Параметр апарату  $\Phi$  можна вважати незмінним, його обчислюють за розрахунковими параметрами за формулою:

$$\Phi = \frac{\kappa \cdot F}{\sqrt{W_M^p \cdot W_B^p}}, \quad (5.3)$$

де  $\kappa$ ,  $F$  – коефіцієнти теплопередачі та площа поверхні теплообміну для розрахункових умов;  $W_M^p$ ,  $W_B^p$  – менше та більше значення теплових еквівалентів витрат речовин для розрахункових умов роботи апарату.

Завдання роботи – за даними замірів температури теплоносія на вході та виході теплообмінника,  $\tau_1$  і  $\tau_2$ , температур води, що нагрівається,  $t_x$  і  $t_r$ , та її витрат  $G_x$  визначити температуру нагріву води у підігрівнику щодо наведених у табл. 5.1 даних.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані щодо визначення температури нагріву води

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
Витрати холодної води $G_x^*$ , кг/с	0,02	0,017	0,015	0,012	0,01
Температура води на вході до теплообмінника: – гріючої, $\tau_1^*$ , °C; – холодної $t_x^*$ , °C	30 6	32 7	35 8	37 9	40 10

### 5.3 Порядок виконання роботи та оброблення результатів вимірювань

Підготовка лабораторної установки до вимірювання здійснюється так як і під час виконання роботи № 2. Результати вимірювань необхідно занести до таблиці за наведеною формою (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Результати вимірювань

№ п/п	Параметр	Позначення	Одиниця вимірювання	Величина
1	2	3	4	5
1	Температура холодної води	$t_x$	$^{\circ}\text{C}$	
2	Температура гарячої води	$t_r$	$^{\circ}\text{C}$	
3	Температура гріючого теплоносія на вході до теплообмінника	$\tau_1$	$^{\circ}\text{C}$	
4	Температура гріючого теплоносія на виході теплообмінника	$\tau_2$	$^{\circ}\text{C}$	
5	Показання витратоміру до початку проведення роботи			
6	Показання витратоміру холодної води через інтервал часу $\Delta T$			
7	Інтервал часу	$\Delta T$	с	
8	Витрати холодної води	$G_x$	кг/с	

Оброблення експериментальних даних необхідно провести у такій послідовності:

1. За результатами вимірювань обчислюємо теплову продуктивність водопідігрівної установки для умов випробувань:

$$Q = G_x \cdot c \cdot (t_r - t_x), \text{ Вт.}$$

2. Витрати гріючої води для умов випробувань:

$$G_z = \frac{Q}{c(\tau_1 - \tau_2)}, \text{ кг/с.}$$

3. За формулою (4.2) визначаємо середню логарифмічну різницю температур під час випробувань  $\overline{\Delta t}$ .

4. За формулою (5.3) обчислюємо параметр теплообмінника:

$$\Phi = \frac{k \cdot F}{\sqrt{W_x \cdot W_z}},$$

де  $kF = \frac{Q}{\Delta t}$ ;  $W_x = c \cdot G_x$ ;  $W_r = c \cdot G_r$  (питому теплоємність води прийняти рівною 4187 Дж/(кг·°C)).

5. За формулою (5.2) визначаємо питоме безрозмірне теплове навантаження підігрівника для умов завдання (прийняти  $G_r^* = G_r$ ):

$$\varepsilon = \frac{1}{0,35 \frac{W_M^*}{W_B^*} + 0,65 + \frac{1}{\Phi} \sqrt{\frac{W_M^*}{W_B^*}}} \leq 1.$$

6. Теплова продуктивність підігрівника для умов завдання:

$$Q = \varepsilon \cdot W_M^* \cdot (\tau_1^* - t_x^*), \text{ Вт.}$$

7. Температура нагріву води у теплообміннику для умов завдання:

$$t_z^* = t_x^* + \frac{Q}{c \cdot G_x^*}, \text{ } ^\circ\text{C.}$$

#### 5.4 Оформлення та захист лабораторної роботи

1. Вказати мету роботи.
2. Навести базові розрахункові формули.
3. Заповнити таблицю 5.2; виконати обчислення за поданою методикою.
4. Звіт про виконання лабораторної роботи оформити на аркушах формату А4.
5. Захист лабораторної роботи – відповіді на запитання за її змістом.

### Лабораторна робота № 6.

#### Визначення коефіцієнта змішування на вводі до місцевої системи опалення

6.1 Мета роботи – закріпити теоретичні знання щодо принципів організації приєднання систем опалення до теплових мереж; експериментальне визначення коефіцієнта змішування у разі залежного приєднання системи опалення.

#### 6.2 Базові теоретичні положення

Приєднання місцевих систем опалення до теплових мереж можна здійснити за залежними (рис. 6.2) або незалежною (рис. 6.1) схемами. Залежне приєднання може бути без зниження температури (рис. 6.1, а) або зі зниженням температури за допомогою водоструминних елеваторів (рис. 6.1, б), зі зниженням температури за допомогою насоса (рис. 6.1, в), який встановлюють на перемичці між подавальним і зворотним трубопроводами системи опалення.

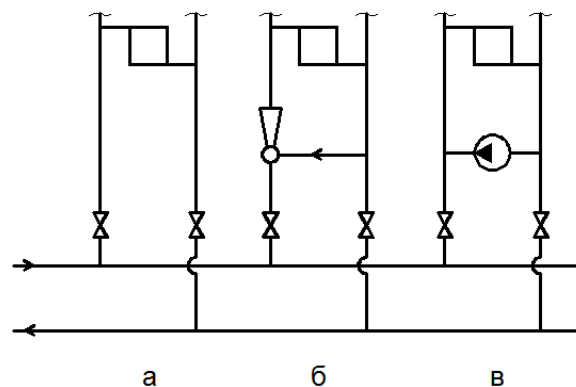


Рис. 6.1 – Залежне приєднання систем опалення до теплових мереж

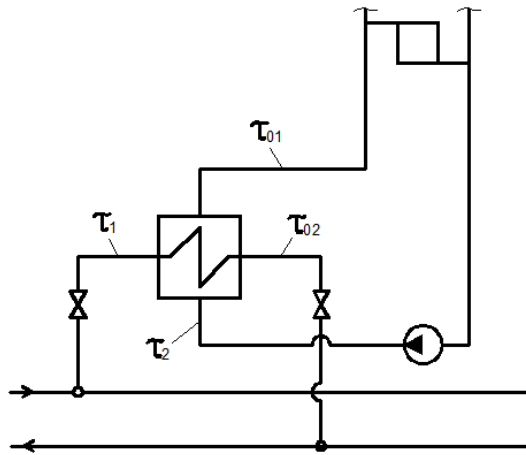


Рис. 6.2 – Незалежне приєднання систем опалення до теплових мереж

Тиск, що утворюється насосом, повинен дорівнювати сумі втрат тиску у системі опалення і втрат тиску в самій перемичці. Тому насос підбирають переважно з 10 % запасом за коефіцієнтом змішування. Частіше на індивідуальних теплових пунктах використовують насоси типу ЦВЦ – малогабаритні, моноблочні, з асинхронним електродвигуном, які встановлюють безпосередньо на трубопроводі. Продуктивність такого насосу визначають як різницю кількості води, що циркулює в системі опалення  $G_o$  і води, що надходить з подавального трубопроводу теплових мереж  $G_T$ :

$$G_H = G_o - G_T. \quad (6.1)$$

Важливим показником режимів роботи вузла вводу у разі залежного приєднання системи опалення зі зниженням температури є коефіцієнт змішування, який є відношенням витрат води, що надходить з перемички ( $G_1$ ), до витрат мережної води з подавального трубопроводу теплових мереж ( $G_T$ ):

$$U = \frac{G_1}{G_T}. \quad (6.2)$$

Використовуючи співвідношення для тепловмісту матеріальних потоків, коефіцієнт змішування можна записати через значення температур води у вузлі змішування:

$$U = \frac{\tau_1 - \tau_3}{\tau_3 - \tau_2}, \quad (6.3)$$

де  $\tau_1$  – температура води у подавальному трубопроводі теплових мереж;  
 $\tau_2$  – температура води у зворотному трубопроводі системи опалення;  
 $\tau_3$  – температура води після вузла змішування (на вході системи опалення).

Відносна похибка визначення коефіцієнта змішування за рівнянням (6.3) згідно з [3] визначається за формулою:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{\Delta(\tau_1) + \Delta(\tau_3)}{\tau_1 - \tau_3} + \frac{\Delta(\tau_3) + \Delta(\tau_2)}{\tau_3 - \tau_2}, \quad (6.4)$$

де  $\Delta(\tau)$  – абсолютна похибка вимірювань відповідної температури.

### 6.3 Порядок виконання роботи

1. Підготувати лабораторну установку до вимірювань. Для цього закрити вентилі 55, 10, 56, 50, 52, 57, 9. Усі інші вентилі повинні бути відкритими. Включити насос 3, електричний нагрівач 2, змішувальний насос 16. Після встановлення стаціонарного теплового режиму провести заміри необхідних величин.

2. Заміряти витрати теплоносія на виході з нагрівача  $G_T$  і температури теплоносія у характерних точках вузла змішування:

- температура води після теплогенератора ( $\tau_1$ );
- температура води у зворотній лінії після опалювальних приладів;
- температура води після вузла змішування на вході до опалювальних приладів.

Результати вимірювань занести у табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати вимірювань

№ п/п	Параметр	Розмірність	Величина	Похибка визначення
1	Температура, $\tau_1$	°C		
2	Температура, $\tau_2$	°C		
3	Температура, $\tau_3$	°C		
4	Витрати теплоносія, $G_T$	кг/с		

3. Обчислити величину коефіцієнта змішування.

4. За формулою (6.2) обчислити витрати теплоносія, що надходить з перемички.

5. Обчислити відносну похибку визначення коефіцієнта змішування.

### 6.4 Оформлення та захист лабораторної роботи

1. Вказати мету роботи.

2. Навести базові розрахункові формули.

3. Заповнити таблицю 6.1; виконати обчислення за поданою методикою.

4. Звіт про виконання лабораторної роботи оформити на аркушах формату А4.

5. Захист лабораторної роботи – відповіді на запитання за її змістом.



### Список використаних джерел

1. Шульга М. О., Алексахін О. О. Теплопостачання і гаряче водопостачання: навч. посіб. – Харків: ХНАМГ, 2004. – 229 с.
2. Алексахін О. О., Герасимова О. М. Приклади й розрахунки з теплопостачання та опалення: навч. посіб./ О. О. Алексахін. – Х. : ХДАМГ, 2002. – 206 с.
3. Осипова В. Д. Экспериментальное исследование процессов теплообмена/ В. Д. Осипова – М. : Энергия, 1979. – 320 с.
4. Алексахін О. О. Теплопостачання і гаряче водопостачання: методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи [для студентів 3 курсу денної і 4 курсу заочної форм навчання спеціальності «Технічне обслуговування, ремонт та реконструкція будівель»]/ О. О. Алексахін. – Х. : ХНАМГ, 2007. – 23 с.

## Додатки

### Додаток А

Співвідношення одиниць вимірювання міжнародної системи  
та одиниць інших систем

Тиск	$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2 = 0,102 \text{ мм вод. ст.} = 1,02 \cdot 10^{-5} \text{ ат (кг/см}^2) = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$
Робота і енергія	$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 0,239 \text{ кал}$
Потужність	$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с} = 0,862 \text{ ккал/год}$
Теплоємність	$1 \text{ ккал/(кг} \cdot ^\circ\text{C)} = 4,187 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$
Коефіцієнт тепловіддачі, теплопередачі	$1 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C)} = 1,163 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$

### Додаток Б

Теплофізичні властивості водяної пари

Температура, К	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$C_p$ , Дж/кг $\cdot$ °C	$\nu$ , м <sup>2</sup> /с	$\lambda$ , Вт/(м $\cdot$ К)	Pr	$\beta$ , К <sup>-3</sup>
380	0,5863	2060	$2,16 \cdot 10^{-5}$	0,0246	1,060	$2,63 \cdot 10^{-3}$
400	0,5542	2014	2,42	0,0201	1,040	2,50
450	0,4902	1980	3,11	0,0299	1,010	2,22
500	0,4905	1985	3,86	0,0339	0,996	2,00
550	0,4005	1997	4,70	0,0379	0,991	1,82
600	0,3852	2026	5,66	0,0422	0,986	1,67
650	0,3380	2056	6,64	0,0464	0,995	1,54
700	0,3140	2085	7,72	0,0505	1,000	1,43
750	0,2931	2119	8,88	0,0549	1,005	1,33
800	0,2730	2152	$1,02 \cdot 10^{-4}$	0,0592	1,010	1,25
850	0,2579	2186	1,152	0,0637	1,019	1,18

*Навчальне видання*

**Методичні вказівки**

до лабораторних робіт з дисципліни «Теплопостачання і гаряче водопостачання» (для студентів 3 курсу денної форми навчання за напрямом підготовки 6.060101 «Будівництво», спеціальності «Міське будівництво і господарство», спеціалізації «Технічне обслуговування, ремонт та реконструкція будівель»).

Укладачі: **Алексахін** Олександр Олексійович  
**Бобловський** Олександр Володимирович

Відповідальний за випуск *В. І. Абелешов*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *О. О. Алексахін*

План 2011, поз. 33м

---

Підп. до друку 28.02.2011

Формат 60×84 1/16

Друк на ризографі

Ум.-друк. арк. 1,0

Зам. №

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені

О.М. Бекетова

вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК №4046 від 12.05.2011р.